

# Fiber optic coupler exhibiting low nonadiabatic loss

Publication number: CN1120172

Publication date: 1996-04-10

Inventor: WERDMAN DAVID L (US); YOUNG JR DONALD R (US)

Applicant: CORNING INC (US)

Classification:

- international: G02B6/02; G02B6/28; G02B6/287; G02B6/02;  
G02B6/28; G02B6/287; (IPC1-7): G02B6/26

- European: G02B6/16; G02B6/28B6H

Application number: CN19951004698 19950504

Priority number(s): US19940238384 19940505

Also published as:

EP0681196 (A1)

US5412745 (A1)

JP7301722 (A)

EP0681196 (B1)

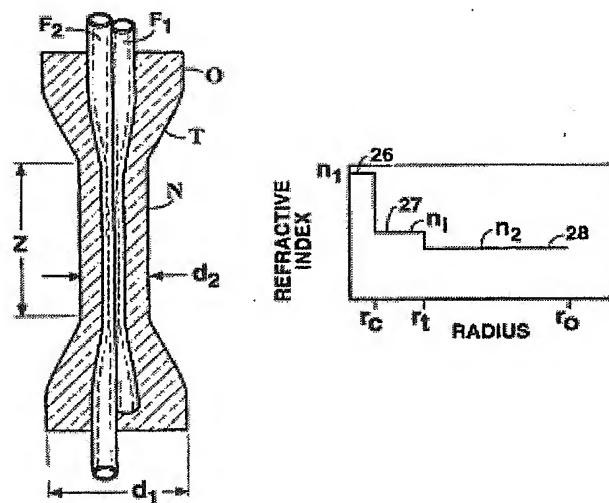
AU704263B (B2)

[Report a data error here](#)

Abstract not available for CN1120172

Abstract of corresponding document: **US5412745**

A fiber optic coupler comprising a plurality of single-mode optical fibers, each of which is tapered to form a small diameter section that extends in contiguous relationship with the small diameter sections of the other fibers to form a coupling region. Each of the fibers has a core surrounded by a cladding of refractive index lower than that of the core. At least one of the fibers has a refractive index pedestal of refractive index  $n_1$  between said core and cladding, wherein  $n_1 > n_1 > n_2$ ,  $n_1$  and  $n_2$  being the refractive indices of the core and cladding, respectively.



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

## [12] 发明专利说明书

[21] ZL 专利号 95104698.5

[45] 授权公告日 2001 年 10 月 10 日

[11] 授权公告号 CN 1072802C

[22] 申请日 1995.5.4

[21] 申请号 95104698.5

[30] 优先权

[32] 1994.5.5 [33] US [31] /238384

[73] 专利权人 康宁股份有限公司

地址 美国纽约

[72] 发明人 戴维·李·韦德曼

小唐纳德·雷·扬

审查员 宫维京

[74] 专利代理机构 上海专利商标事务所

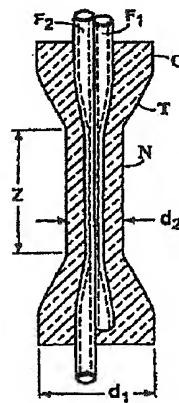
代理人 沈昭坤

权利要求书 2 页 说明书 9 页 附图页数 5 页

[54] 发明名称 呈现较低非绝热损耗的光纤耦合器

[57] 摘要

一种光纤耦合器包括多根单模光纤，使每根光纤渐变以构成小 直径段，这些小 直径段以邻接的关系延伸，构成耦合区域。每根光纤 有一个纤芯，纤芯外面由包层围绕，包层的折射率低于纤芯的折射 率。至少一根光纤 具有一个折射率上凸区，它的折射率  $n_1$  在所述纤 芯和包层的折射率之间， $n_1 > n_i > n_2$ ，这里  $n_1$  和  $n_2$  分别是纤芯和包层的折射率。



ISSN 1008-4274

## 权 利 要 求 书

## 1. 一种呈现低绝热损耗的光纤耦合器，包括：

多根单模光纤，每根光纤具有一个双圆锥渐变段，所述光纤的渐变段以邻接关系延伸以形成耦合区域，每根光纤都有一个纤芯以及围绕纤芯、其折射率要比所述纤芯的折射率低的包层，其特征在于，所述光纤中至少有一根光纤在所述纤芯和包层之间有一个折射率上凸区，其中  $n_1 > n_i > n_2$ ， $n_i$  是所述上凸区之最大折射率， $n_1$  是所述至少一根光纤的纤芯的最大折射率而  $n_2$  是所述至少一根光纤的包层的折射率，并且  $\Delta_{pedestal} = (n_i^2 - n_2^2) / 2n_i^2$  的值小于 0.15%，而所述上凸区的半径大于 3 微米。

2. 如权利要求 1 所述的光纤耦合器，其特征在于，所述上凸区的最大半径是 25 微米，所述上凸区的半径在 20 至 25 微米之间。

3. 如权利要求 1 或 2 所述的光纤耦合器，其特征在于，所述至少一根光纤含氯，所述至少一根光纤在所述上凸区的含氯量大于在所述包层中的含氯量。

4. 如权利要求 1、2 或 3 所述的光纤耦合器，其特征在于，所述至少一根光纤的纤芯包含二氧化硅以及使折射率增加的掺杂剂，而所述上凸区也包含二氧化硅以及使折射率增加的掺杂剂。

5. 如权利要求 4 所述的光纤耦合器，其特征在于，所述纤芯和所述上凸区包含相同或不同的使折射率增加的掺杂剂。

6. 如权利要求 1 所述的光纤耦合器，其特征在于，所述至少一根光纤的所述包层包含一种使折射率减小的掺杂剂，其掺杂量足以使所述包层的折射率的数值降低到小于  $n_i$ 。

7. 如权利要求 1 所述的光纤耦合器，其特征在于，所述多根光纤是相同的，或所述至少一根光纤不同于其余的所述多根光纤。

8. 如权利要求 1 所述的光纤耦合器，其特征在于，所述多根光纤中的每一根在所述纤芯和包层之间都有一个折射率上凸区，所述上凸区的折射率大于所述光纤包层的折射率而小于所述光纤纤

芯的折射率。

9. 如权利要求 1 所述的光纤耦合器，其特征在于，所述耦合器的耦合区域由一个以基质玻璃做成的细长的壳体包围，该壳体有两个端部区域和一个中段，所述光纤在此壳体内纵向地延伸，并与所述壳体的中段熔融在一起，所述中段的中央部分的直径小于所述端部的直径，所述中段的中央部分构成所述耦合区域。

## 说 明 书

### 呈现较低非绝热损耗的光纤耦合器

本发明涉及光纤耦合器,特别涉及由渐变段引起的非绝热过剩损耗值低的耦合器。

本发明涉及各种光纤耦合器,不论其具有何种功能或者物理结构。可以应用本发明的各种耦合器功能包括消色差、波分多用、信号分接以及切换等。各种不同结构的例子有:(a)将多根在空间同向延伸的光纤加热并拉伸,使之熔融并形成渐变段而制成的熔融双圆锥渐变段耦合器、(b)将多根光纤插入一根套管,加热使套管缩塌于光纤上,再拉伸该套管中段而制成的包覆耦合器以及(c)将多根光纤加热并拉伸以形成渐变段,再将光纤的被拉伸区域互相靠近形成耦合区(有时部分包层已用腐蚀、抛磨等方法去除)而制成的同向延伸光纤耦合器。在各种耦合器中,在耦合区域的周围有折射率为  $n_3$  的介质围绕,该折射率低于耦合器光纤包层的折射率。介质可以是空气、玻璃、塑料等。

由于对光纤耦合器的光学性能的要求越来越严格,因而对减小过剩损耗来源的需要也越来越紧迫。一种损耗来源(在某些耦合器中可能是主要的损耗来源)是由渐变段引起的非绝热过剩损耗。

在光纤耦合器的渐变区域,基模连续变形以适应不断变化的局部折射率分布。如果几何形状变化率过大,则基模会与耦合器折射率结构的高次模相耦合。这一机制称为非绝热模式耦合。当把耦合器称为“单模”耦合器时,它实际上指输入光纤和输出光纤都只支持基模  $LP_{01}$  模低损耗传输这一事实。一般情况下,耦合器可支持数个束缚传输模。然而,这些模式中的某一些可能在渐变段的某点处被截

止,把它们的光功率耦合至辐射模,由于损失了这些作为潜在的耦合器输出的光功率而造成过剩损耗。另一些未被截止的高次模将把其光功率输出至输出光纤的高次模。这些模式的损耗很高,其净效果也是耦合器输出端的功率损失以及过剩损耗增加。典型地,这些非绝热模式耦合作用与波长有关,因而过剩损耗亦随波长

采用下述符号来表示已有技术和/或本发明的特性。把 $\Delta_{1-2}$ 定义为 $(n_1^2 - n_2^2)/2n_1^2$ ,这里 $n_1$ 和 $n_2$ 分别是纤芯和包层的折射率。 $\beta_{CR}$ 用来表示在耦合器的耦合区域中,耦合器光纤基模的传播常数。 $\Delta_{pedestal}$ 等于 $(n_i^2 - n_2^2)/n_i^2$ ,这里 $n_i$ 是光纤中紧靠纤芯的部分的折射率(见图2中的折射率下凹区(dip)10和图8中的折射率上凸区(peDESTAL)27)。

在图中所画的折射率分布曲线中,并未按比例以精确的相对大小来表示折射率和半径。

在一种特殊类型的波分多用(WDM)耦合器(这里称为A型耦合器)中,当用它把信号(波长 $\lambda_s$ )和泵功率(波长 $\lambda_p$ )耦合至光纤放大器的增益光纤时,曾观察到显著的非绝热模式耦合。在美国专利第5,179,603号中揭示了这样一种耦合器,它既用作WDM又用作模式场变换器。第一根耦合器光纤具有一个与标准通信光纤匹配的纤芯( $\Delta^{esi} = 0.36\%$ , $d_c^{esi} = 8.3$ 微米,模式场直径=10.5微米(波长为1550纳米时)和5.7微米(波长为1000纳米时))。第二根耦合器光纤具有大的纤芯—包层 $\Delta_{1-2}$ 值(约1%), $d_c^{esi}$ 为3.5微米,以及足够小的模式场直径(波长为1550纳米时,该直径为6.4微米,而波长为1000纳米时,该直径为3.7微米),它与掺铒增益光纤基本上相匹配。 $\Delta^{esi}$ 是光纤的等效阶跃折射率增量,而 $d_c^{esi}$ 是等效阶跃折射率纤芯的直径。若非第二根光纤包层的含氯量大于第一根光纤包层的含氯量,从而第二根光纤包层的折射率大于第一根光纤包层的折射率,二根耦合器光纤本会具有显著不同的 $\beta_{CR}$ 值。耦合器光纤包层之间折射率的不等,就使它们的 $\beta_{CR}$ 值变得足够匹配,而使95%以上波长为

$\lambda_s$  的光功率能在第一和第二耦合器光纤之间耦合。由于制造第二根耦合器光纤所用的方法,它的含氯量分布(理想分布)如图 1 所示,而它的总折射率分布(理想分布)如图 2 所示。应该注意,这些耦合器光纤的折射率分布由掺氯量和掺锗量二者确定,如果在小的半径( $<2$  微米)处有高的掺锗浓度,则将形成如图 2 所示的内折射率峰,二种含氯量的转变点的半径是  $r_1$ ,纤芯半径是  $r_c$ ,而光纤的外半径是  $r_o$ 。

标准通信光纤的折射率分布(理想分布)示于图 3。

在用二根以图 1 和 2 为特征的、相同的小模式场直径光纤做成的 WDM 耦合器(这里称为 B 型耦合器)中,也将观察到这种损耗机制,且过剩损耗更大。图 4 示出 A 型和 B 型耦合器的过剩损耗对波长的曲线(它们分别是曲线 12 和 14)。在这两种情形中,损耗随波长改变表明了可能存在非绝热损耗机制。

已经发现,用具有以图 5 曲线 20 所示掺氯量分布的小模式直径光纤制成的 A 型耦合器的过剩损耗要比那些用具有以图 5 曲线 21 所示掺氯量分布的小模式场直径光纤制成的耦合器的过剩损耗大 0.3 分贝。除了包层的含氯量之外,这些小模式场直径光纤的其他方面基本相同。这样,显然可见,含氯量分布曲线的下凹越深则耦合器的过剩损耗就越大。

因此本发明的一个目的是提供呈现较低过剩损耗的光纤耦合器。

简言之,本发明涉及这样一种光纤耦合器,它包含多根单模光纤,而每根光纤都具有一个双圆锥渐变段。这些光纤的渐变段以邻接关系延伸而形成耦合区域。每根光纤具有一根纤芯,纤芯外是一个包层,包层的折射率低于纤芯的折射率。在这些光纤中至少有一根在其纤芯和包层之间有一个折射率  $n_i$  的上凸区,其中  $n_1 > n_i > n_2$ ,  $n_1$  和  $n_2$  分别是所述至少一根光纤的纤芯和包层的折射率。

图 1 是一种已知 WDM 耦合器光纤的含氯量分布曲线。

图 2 是一种已知 WDM 耦合器光纤的折射率分布曲线。

图 3 是一根标准通信光纤的折射率分布曲线。

图 4 示出二种不同耦合器的频谱过剩损耗曲线。

图 5 是示出三种不同耦合器光纤的含氯量分布曲线。

图 6 是一种包覆光纤耦合器的剖面图。

图 7 示出具有不同含氯量下凹或上凸的耦合器的最大过剩损耗。

图 8 是按照本发明设计的一种耦合器光纤的折射率分布曲线。

图 9 示出了  $\Delta\beta$  的理论变化与拉伸比的关系曲线, 其参量是  $\Delta_{pedestal}$ 。

图 10 画出了  $\Delta\beta$  的理论变化与拉伸比的关系曲线, 其参量是上凸区半径。

图 11 画出了  $\Delta_{pedestal}$  的理论变化与上凸区半径的关系曲线, 图中还示出了模式场直径与截止界限。

图 12 画出了  $\Delta\beta$  最小值的理论变化与上凸区半径  $a_{pedestal}$  的关系曲线,  $\Delta_{pedestal}$  值由下式确定:

$\Delta_{pedestal} = 0.115 \text{ 微米} / a_{pedestal}$ , 这是在给定的  $a_{pedestal}$  下, 由截止 (波长) 限制条件定出的最大  $\Delta_{pedestal}$  值。

这里所讨论的是关于 B 型耦合器的实验结果, 每个耦合器是用二根相同的  $\Delta_{1-2}$  值高而模式场直径小的光纤制成的。这些耦合器在它们的包层的内里部分(在半径小于 10 微米区域)氯的含量不相同。

耦合器光纤按第 5,295,111 号美国专利所揭示的工艺制作(把该项专利包括在此作为参考资料)。在一圆柱状心轴上做出一多孔纤芯预制棒, 该棒包括一纤芯区域和一包层玻璃薄层。去除心轴, 并把所得之管状预制棒慢慢伸入一烧结马弗炉膛, 烧结炉的最高温度在 1200°C 与 1700°C 之间, 对于二氧化硅含量高的玻璃, 最好在 1490°C 左右。在预制棒烧结步骤中通常用氯来实现干燥, 可以使包含氯气和

氯气的干燥气体经预制棒的孔流入而向预制棒提供氯。把预制棒孔的末端塞住,使气体流经预制棒的细孔。氯清洗气体同时流经马弗炉。

把所得之管状玻璃物体在一标准的拉伸炉内加热并拉伸,这时对该物体的孔抽真空,再将孔封闭以制成“芯棒”。把一段适当长度的芯棒支在车床上,并使二氧化硅微粒淀积在芯棒上。再把所得之最终的多孔预制棒插入一烧结炉对它进行烧结,此时让氯气和氯气的混合物向上流经烧结炉。把所得之玻璃预制棒进行拉伸以制成一单模光纤。加至原先形成的纤芯预制棒的包层玻璃微粒数量的多少决定了含氯量分布曲线上凸区或下凹区的半径。在第一和第二干燥/烧结步骤中,由预制棒的多孔部分所获得的氯量的多少决定了 $\Delta_{pedestal}$ 的值。在最后得到的光纤中,掺锗纤芯的半径接近2微米,而纤芯一包层的 $\Delta_{1-2}$ 约为1.0%。

按照第5,011,251和5,295,211号美国专利所述的方法来制作耦合器。从一根光纤的中段和另一根光纤的端部剥去保护层。把这两根光纤插入一根玻璃套管的中心孔内,并使它们的被剥去保护层的部分沿玻璃套管的中部延伸。将装有光纤的中心孔抽真空并将玻璃套管加热,以使玻璃套管的中部缩塌在光纤上。再将玻璃套管加热,并拉伸缩塌的中部以构成一耦合器。

所得到的耦合器在图6中示意地画出,在该耦合器中,光纤 $F_1$ 和 $F_2$ 在外包层玻璃套管O中延伸。光纤自套管伸出的部分最好有保护层材料(在本解说性的实施例中没有示出)。至少在套管中部的那些部分的光纤没有保护层。套管本来的直径是 $d_1$ 。套管被拉伸中部的中央部分构成了直径为 $d_2$ 的颈缩区域N,在此区域中,二根光纤的纤芯在一段足够长的距离Z内靠得足够近,以产生所要的它们之间的耦合量。尽管在区域N内存在微小的锥度,从而在区段N的纵向中心处具有最小的直径,但仍将它画成具有恒定的直径。拉伸比

$R$  等于  $d_1/d_2$ 。渐变区域 T 把颈缩区域与套管 O 的非拉伸端部区域相连。

对于采用具有不同含氯分布曲线下凹量的小模式场直径的光纤做成的各种 WDM 耦合器的分析表明,含氯分布曲线的下凹量越大,则耦合器的过剩损耗也越大。为进一步证实这一机制,以四种不同的小模式场光纤制作了 B 型 WDM 耦合器。每个耦合器是取二根相同的小模式场直径的光纤按照上述步骤制成的。每个耦合器采用半径约 10 微米以下区域具有不同氯浓度的光纤。当半径在约 10 微米以上时,氯的浓度基本相同。在半径小于约 10 微米时,每种类型的光纤具有的含氯量或是比外面的含氯量低(下凹)或是比外面的含氯量高(上凸)。其中包括了含氯量分布具有很深的下凹(如图 5 中的曲线 20)的光纤和如图 5 曲线 22 所示含氯量分布具有上凸的光纤。在图 7 中示出了在波长范围为 1200 至 1600 纳米的最大过剩损耗与小半径(约 10 微米)区内含氯量分布曲线下凹量的关系。下凹量的负值即对应于上凸量。数据表明了这样一种明显的趋势,即下凹越小,则损耗也越小,并且在有上凸时,损耗更小。因此,本发明的一个特色是在光纤耦合器中采用在纤芯与包层之间有一个折射率上凸区的光纤。如图 8 所示,上凸区 27 具有一最大折射率  $n_i$ ,它在纤芯 26 的最大折射率  $n_1$  和包层 28 的折射率  $n_2$  之间。为简单起见,这里把纤芯 26 和上凸区 27 都画成光纤的折射率恒定的区域。其实纤芯 26 和上凸区 27 都可具有变化的折射率分布曲线,诸如渐变分布、由多个阶跃形成的分布,等等。

为确定本发明最佳设计的某些方面,进行了数字模拟。所采用的模拟工具如第 4,877,300 号美国专利所描述,其中,对多种几何形状(沿渐变段尺寸变化)计算了  $LP_{01}$  和  $LP_{11}$  的传播常数之差。

图 9 示出对于不同的  $\Delta_{pedestal}$  值,  $\delta\beta$  的理论变化,  $\delta\beta$  代表最低模  $LP_{01}$  与次高模  $LP_{11}$  的传播常数之差, 并等于  $(\beta_{LP_{01}} - \beta_{LP_{11}})$ 。如果  $\delta\beta$  的

最小值越大，则过剩损耗的性能越好。图 9 示出  $\Delta_{pedestal}$  值较大时能使过剩损耗获得较大的改进。图 9 所示的曲线相应于表 1 中所规定的折射率分布(上凸或下凹)。

表 1

曲线	分 布
36	0.16% $\Delta_{ped}$ 上凸
35	0.08% $\Delta_{ped}$ 上凸
34	0.04% $\Delta_{ped}$ 上凸
33	0.02% $\Delta_{ped}$ 上凸
32	平坦(既无上凸又无下凹)
31	0.02% $\Delta_{ped}$ 下凹

氯浓度差与由该差值产生的折射率  $\Delta$  之间的近似关系为

$$\Delta = \frac{\text{氯浓度差(重量百分比)}}{10}$$

此外，曲线 31 至 33 近似代表了如图 7 所示的，由实验测得的氯浓度差的范围。

图 10 示出了对于  $\Delta_{pedestal}$  值为 0.03% 的  $\delta\beta$  变化与上凸区半径的关系。图 10 的曲线与表 2 所规定的上凸区半径相对应。20 至 25 微米的上凸区半径对于获取最大效果而言是最佳的。对于  $\Delta_{pedestal}$  的其他值，可以获得上凸区半径的类似值。

表 2

曲线	上凸区(下凹区)半径
41	10 微米
42	20 微米
43	30 微米
44	40 微米

上面给出的  $\Delta_{pedestal}$  和上凸区半径最佳值是在不考虑诸如模式场

直径和截止波长等因素的情形下导出的。然而,与不出现上凸区相比,当一光纤的折射率分布曲线中出现一上凸区时,将导致不同的模式场直径和截止波长。

在设计 A 型掺铒光纤放大器 WDM 耦合器时(例如,它的第一根耦合器光纤是与标准通信光纤相匹配的),另外的这些光纤特性也可能很重要。假设第二根耦合器光纤的第一端与一个泵光源相连,并要传播波长为 980 纳米的光,再假设第二根光纤的第二端与增益光纤相连。应该这样来设计第二根耦合器光纤,使得它的截止波长不跌至某个规定的波长(例如,980 纳米)之下。此外,有关光纤的模式场直径应大体与增益光纤的模式场直径相匹配。

因此,除了为损耗而考虑最佳参量之外,还要考虑由截止波长和模式场直径带来的限制。

对于第二根耦合器光纤,相对于模式场直径得出的限制(线 50)和相对于截止波长得出的限制(线 51)的概况示于图 11 中,图中示出了这二种限制。光纤的上凸特性应该落在打阴影线的区域之内。由掺氯得到的上凸值约可高至约 0.02%(线 52),相应于上凸区半径在 10 微米左右。然而,用掺氯的办法难于准确产生低于 0.01% 的  $\Delta_{pedestal}$  值。这里由  $\delta\beta$  值的结果给出了互相抵触的趋势。 $\Delta_{pedestal}$  值越大越有效,它把最佳结果推至打阴影线区域的左上部分,然而前面导出的最佳半径却指向该打阴影线区域右端的一个值。事实上,如图 12 所示,从损耗的角度来看,  $\Delta_{pedestal}$  大而半径小的那一端在特性方面是较为有利的。

由于在这里所见的变化对于过剩损耗的相对改善不能严格地给出定量结果,在上述 B 型耦合器实验中所见的过剩损耗改善(图 7)是  $\delta\beta$  增加约 0.0004 微米<sup>-1</sup>(类似于在图 12 中所见的改变)的结果。

对于  $\Delta_{ped}$  值低于 0.02% 的情形,氯气是一种较佳的掺杂剂,因为在烧结过程中对多孔纤芯预制棒进行干燥时就有氯气存在。为形

成上凸区，只需增加它的浓度至大于在烧结外包层时所用的浓度，然而，当要获得大于约 0.02% 的  $\Delta_{ped}$  值时，就必须采用其他的掺杂工艺。

为使光纤的折射率分布曲线具有上凸区 27(图 8)，可以采用氯以外的掺杂剂。用于形成纤芯 26 的掺杂剂亦可用于形成上凸区。通常用作光纤纤芯掺杂剂的锗可用来形成纤芯 26 和上凸区 27。此外，还有多种其他的使折射率增加的掺杂剂可用于形成纤芯和/或上凸区。上凸区 27 亦可用二氧化硅来形成，而包层 28 用二氧化硅掺以使折射率减小的掺杂剂(如氟或硼)形成。

这里已讨论过并非所有光纤都有折射率上凸区的耦合器以及各光纤都具有相同的折射率上凸区的耦合器。本发明亦可用于多于一根耦合器光纤具有折射率上凸区，且各上凸区不完全相同的耦合器。

说 明 书 附 图

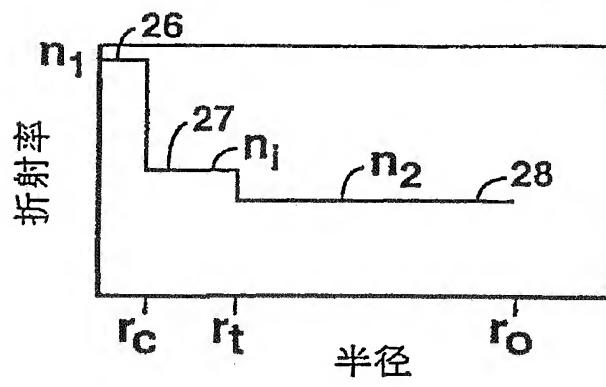
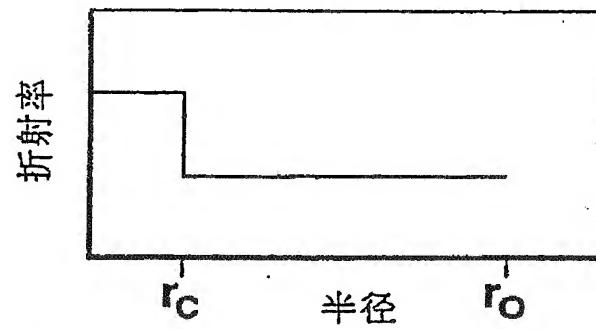
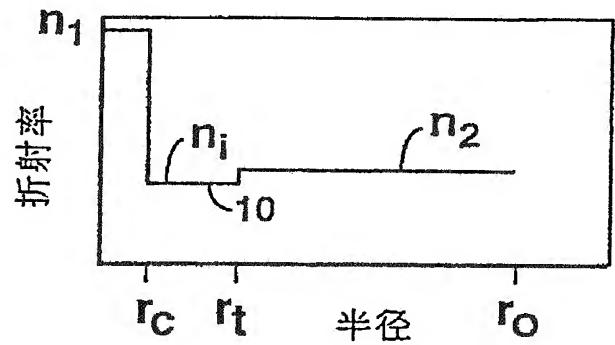
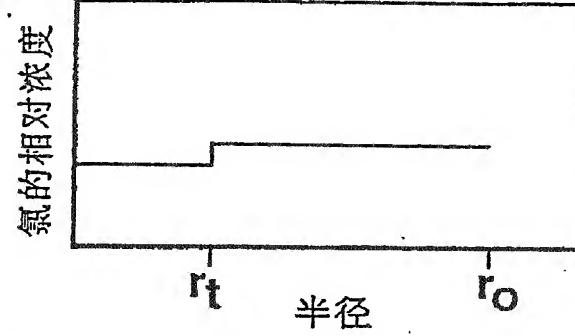


图 4

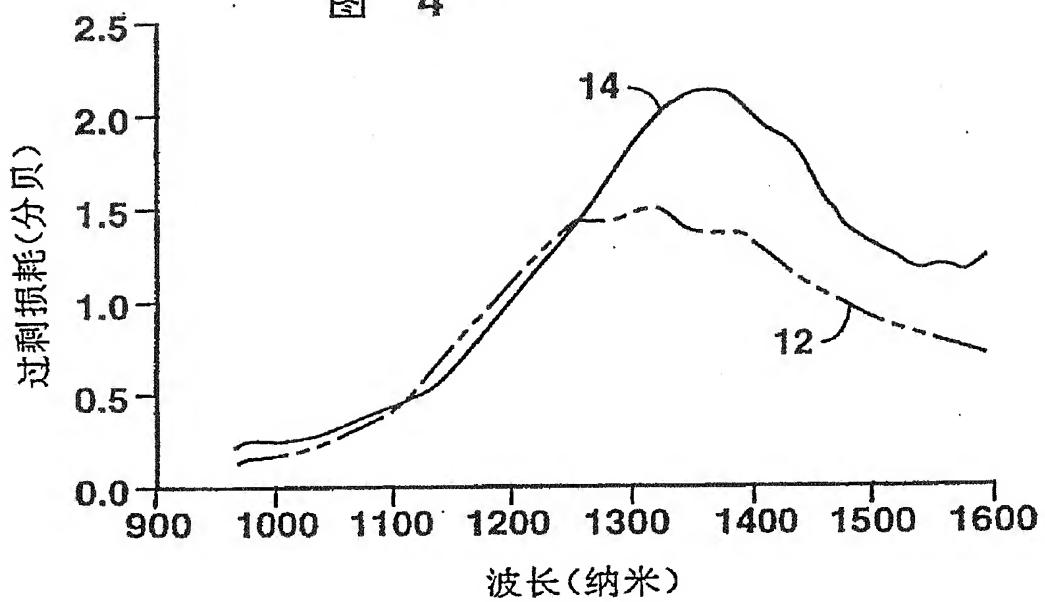
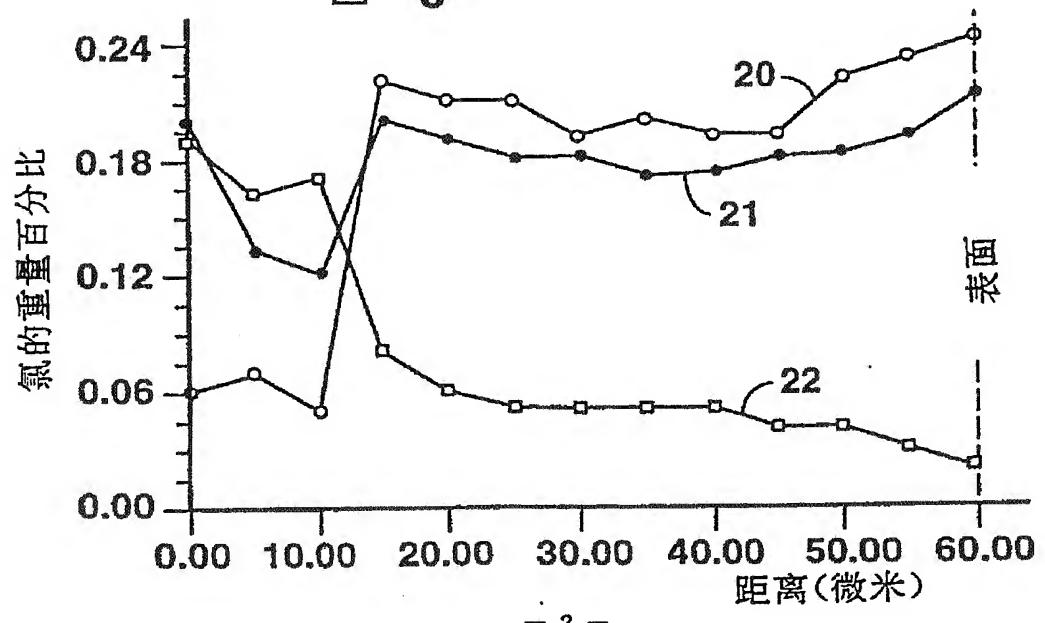


图 5



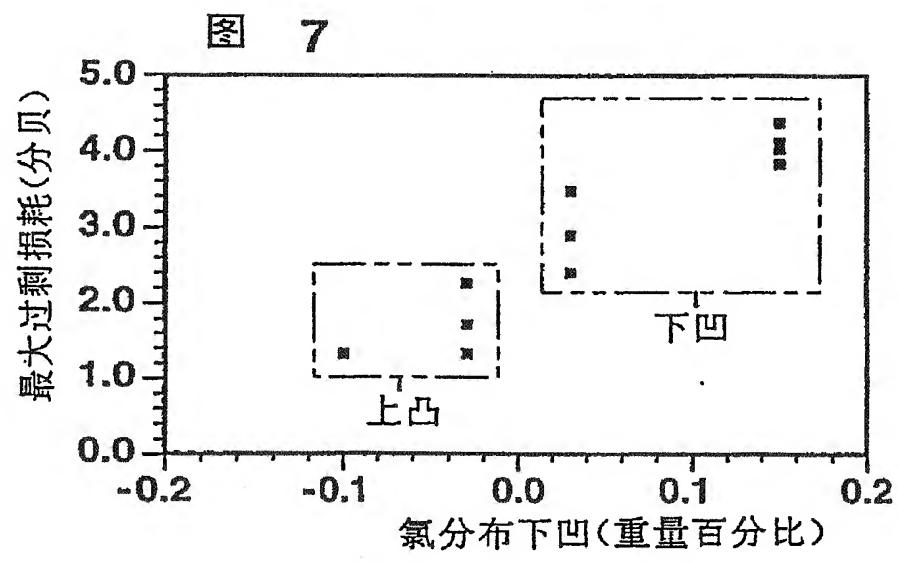
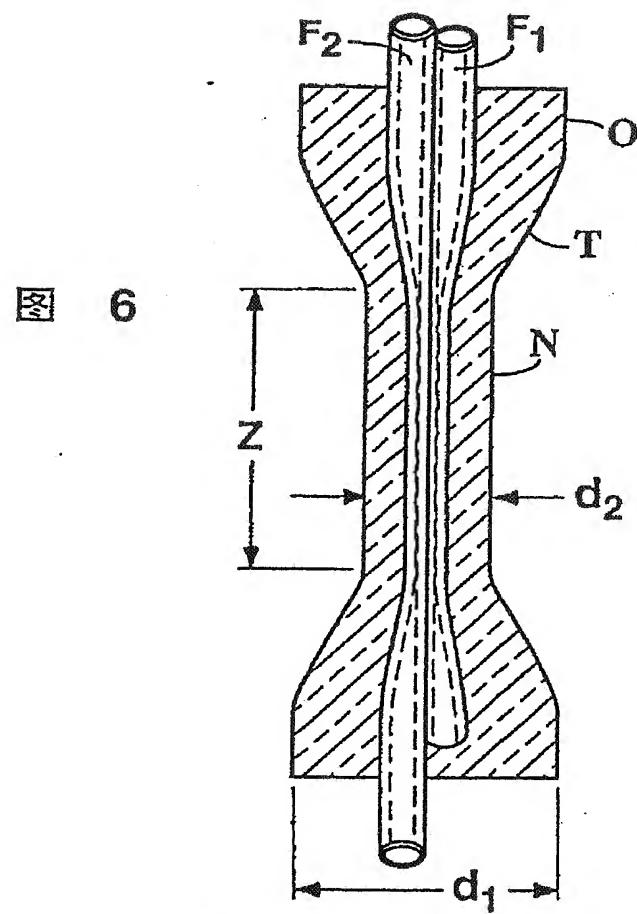


图 9

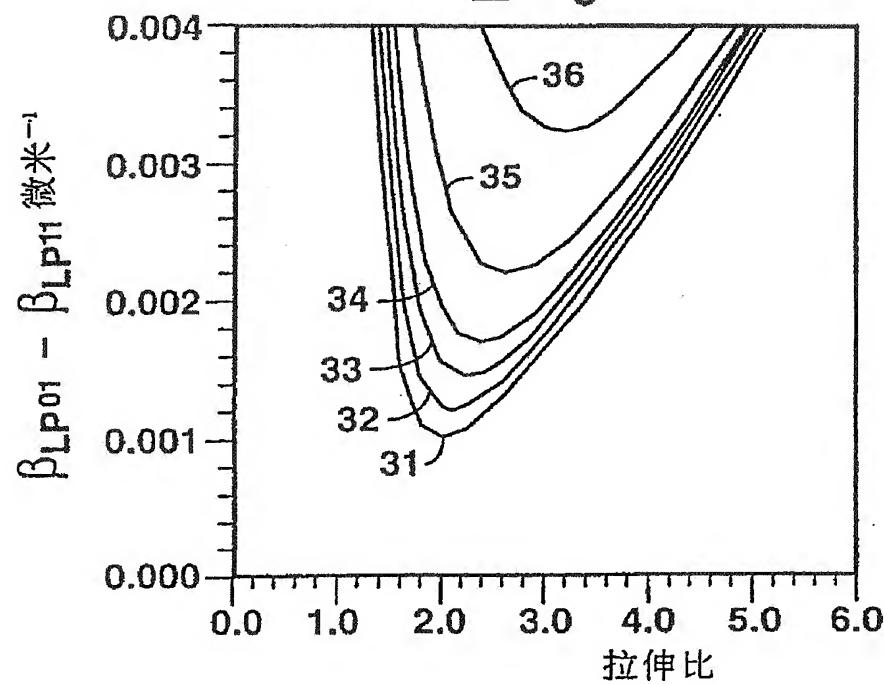


图 10

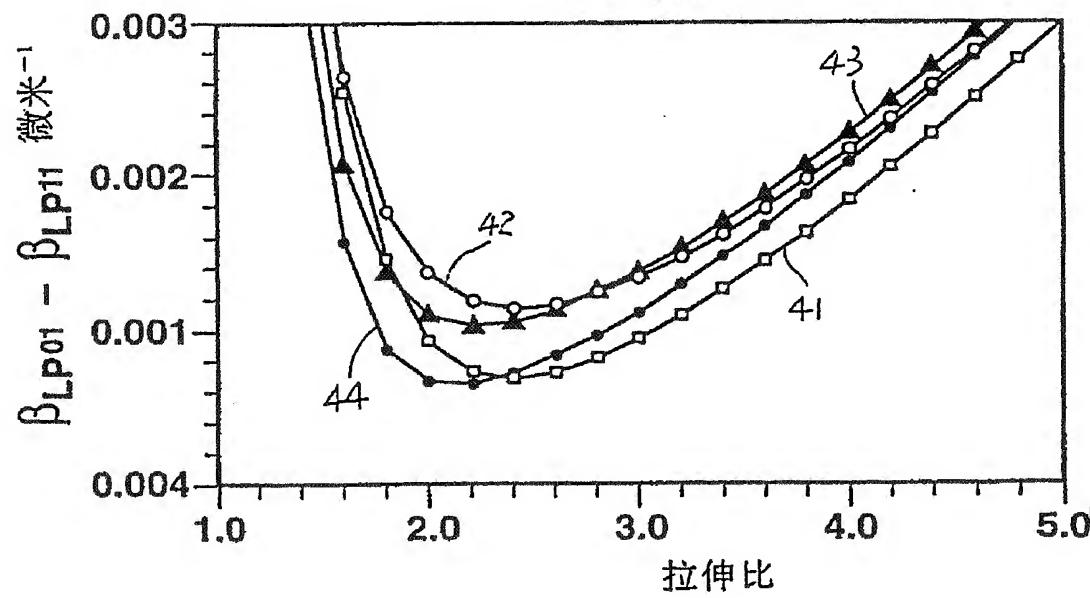


图 11

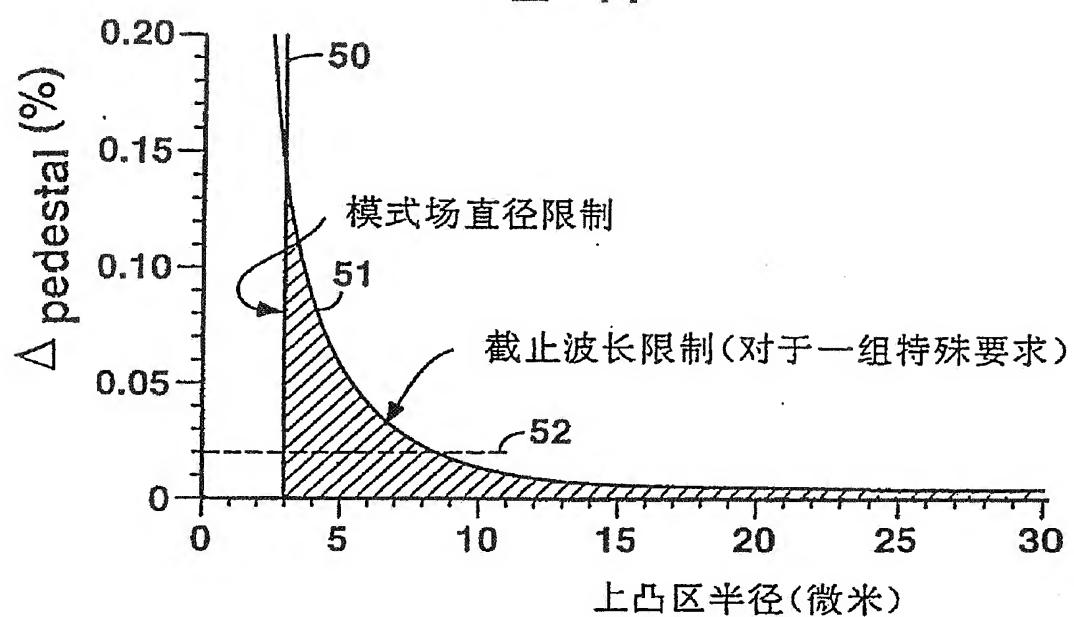


图 12

